

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя**

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра будівельної механіки



**Методичні вказівки
до самостійної роботи з курсу
«Програмне забезпечення інженерних розрахунків»**

для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Тернопіль
2018

УДК 69.04+681.3
М54

Укладачі:

Сорочак А.П., канд. техн. наук, доцент,

Баран Д.Я., канд. техн. наук, доцент.

Рецензенти:

Окіпний І.Б., канд. техн. наук, доцент.

Методичний посібник розглянуто й затверджено на засіданні
кафедри будівельної механіки
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 4 від 29 листопада 2017 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної ради
факультету інженерії машин, споруд та технологій
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 5 від 27 грудня 2017 р.

Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Програмне
М54 забезпечення інженерних розрахунків» для студентів спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання / Укладачі :
Сорочак А.П., Баран Д.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний
технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 24 с.

УДК 69.04+681.3

Методичні вказівки розроблено відповідно до навчального плану підготовки фахівців
освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за спеціальністю 192 «Будівництва та цивільна
інженерія».

Наведено загальні вказівки щодо вивчення курсу «Програмне забезпечення інженерних
розрахунків» та тематичне планування самостійної роботи студентів. Для полегшення пошуку
інформації подаються посилання на літературні джерела із вказанням розділів. Пропонуються
запитання для поглибленого вивчення курсу та самоконтролю. Подаються запитання, що
вносяться на екзамен, критерії оцінки знань студентів та рекомендована література.

© Сорочак А.П., Баран Д.Я., 2018
© Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2018

ЗМІСТ

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	6
ТЕМАТИЧНЕ ПЛАНУВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	7
Тема 1. Загальна характеристика програмного забезпечення інженерних розрахунків.....	7
Тема 2. Метод скінченних елементів.	7
Тема 3. Математичні основи методу скінченних елементів.....	7
Тема 4. Результати розрахунку конструкцій методом скінченних елементів.	8
Тема 5. Структура ПК ЛІРА-САПР та порядок створення розрахункової моделі.	8
Тема 6. Бібліотека скінченних елементів ПК ЛІРА-САПР.....	9
Тема 7. Принципи побудови скінченно-елементних моделей.	9
Тема 8. Раціональне розбиття на скінченні елементи.	10
Тема 9. Характеристики жорсткості елементів розрахункової схеми.	10
Тема 10. Розрахункові сполучення зусиль та навантажень.	10
Тема 11. Підбір армування залізобетонних конструкцій.	11
Тема 12. Перевірка армування залізобетонних конструкцій.	11
Тема 13. Розрахунок та проектування металевих конструкцій.	12
Тема 14. Підбір перерізів прокатних елементів.	12
Тема 15. Розрахунок конструкцій на пружній основі.	13
Тема 16. Розрахунок конструкцій на динамічні впливи.	13
Тема 17. Результати розрахунку на динамічні впливи.	13
Тема 18. Нелінійні розрахунки будівельних конструкцій.	14
Тема 19. Розрахунки з врахуванням фізичної нелінійності.	14
Тема 20. Розрахунки з врахуванням геометричної та конструктивної нелінійності.	14
Тема 21. Моделювання життєвого циклу конструкцій.	15
Тема 22. Виконання розрахунку моделі.....	15
Тема 23. Оцінювання точності результатів розрахунку.....	15
Тема 24. Аналіз та інтерпретація результатів розрахунку.	16
Тема 25. Документування результатів розрахунку.	16

Тема 26. Обмін інформацією з іншими програмними засобами.	17
ПИТАННЯ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЕКЗАМЕН	17
КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ	19
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	21

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 7,0	Галузь знань – 19 «Архітектура та будівництво»	Нормативна / за вибором	
Модулів – 5,0		нормативна	нормативна
Змістових модулів – 10,0	Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»	Рік підготовки	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: –		3	3
		Семестр	
		5, 6-й	5, 6-й
		Лекції	
Загальна кількість годин – 210 Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5 самостійної роботи студента – 2,5		52 год.	18 год.
	Практичні заняття		
	0 год.	0 год.	
	Лабораторні заняття		
	68 год.	18 год.	
	Самостійна робота		
	90 год.	189 год.	
	Індивідуальні завдання: 0 год.		
	Вид контролю: залік, екзамен		

Примітка:

Співвідношення кількості годин індивідуальної і самостійної роботи до загальної кількості годин становить:

- для денної форми навчання – 43%;
- для заочної форми навчання – 90%.

Мета даних методичних вказівок – правильно спрямувати самостійну роботу студентів, яка є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять, при вивченні дисципліни «Програмне забезпечення інженерних розрахунків», допомогти їм визначити головне у змісті курсу, розвинути та закріпити навички, отримані під час виконання лабораторних робіт.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою курсу є надання знань про розрахунки будівельних конструкцій методом скінченних елементів на статичні та динамічні види навантаження, створення дискретних розрахункових моделей споруд та аналіз їх поведінки, а також методи автоматизованого розрахунку та конструювання елементів споруд на прикладі програмного комплексу ЛПРА-САПР.

Завдання курсу:

- ознайомити студентів із основами методу скінченних елементів для аналізу напружено-деформованого стану конструкцій;
- розвинути навички застосування сучасного програмного забезпечення для автоматизації розрахунку, дослідження і проектування будівельних конструкцій;
- освоїти основні методи та прийоми формування дискретних розрахункових схем будівельних конструкцій, їх розрахунку на різні види статичних навантажень, температурних, деформаційних і динамічних дій.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- моделювання у розв'язанні інженерних задач;
- загальні поняття про напружено-деформований стан ;
- дискретна модель розрахункової схеми;
- матриці жорсткості стержневих скінчених елементів;
- вузлові характеристики дискретної моделі;
- рівняння рівноваги вузлів і матриця жорсткості дискретної моделі;
- визначення зусиль у стержнях.

вміти:

- моделювати інженерні об'єкти і задачі;
- вибирати розрахункову модель елемента і визначати схеми діючих на нього навантажень;
- переходити від розрахункової схеми до дискретної моделі;
- виконувати розрахунки за методом скінчених елементів.

Для отримання ґрунтовних знань обов'язковою умовою є самостійна робота. Вона виконується в межах часу, визначеного робочою програмою з використанням базової та додаткової навчальної літератури та інформаційних ресурсів.

ТЕМАТИЧНЕ ПЛАНУВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Тема 1. Загальна характеристика програмного забезпечення інженерних розрахунків.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §1.1, 1.3, 1.4; [2] §1.8, 1.9. Зокрема, розгляньте такі питання:

Коротка характеристика програмного забезпечення для інженерних розрахунків. Програмні комплекси для комп'ютерного моделювання конструкцій.

Запитання для самоконтролю:

1. Дослідження якого класу конструкцій забезпечують програмні комплекси SCAD, ЛІРА-САПР, МОНОМАХ-САПР?
2. В чому полягає відмінність між CAD/CAM/CAE програмами?
3. Назвіть програмне забезпечення, яке використовується для розрахунку НДС конструкцій?
4. Назвіть програмне забезпечення, яке використовується для підготовки проектної документації?
5. В чому полягають переваги використання програмних засобів в інженерній діяльності?

Тема 2. Метод скінченних елементів.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.1-2.3; [4] §4; [7] §3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Загальна відомості про метод скінченних елементів. Історія розвитку методу скінченних елементів. Реалізація методу скінченних елементів у сучасних програмних комплексах.

Запитання для самоконтролю:

1. Дайте коротку характеристику методу скінченних елементів.
2. Назвіть основні етапи розв'язку задач методом скінченних елементів.
3. Охарактеризуйте переваги та недоліки методу скінченних елементів порівняно із аналітичними методами.
4. В чому полягають особливості методу скінченних елементів у формі переміщень?
5. Коли і ким були сформовані принципи сучасного методу скінченних елементів? Коли розпочалося його практичне використання?

Тема 3. Математичні основи методу скінченних елементів.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.4, 2.5; [7] §3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Матриця жорсткості скінченного елемента. Формування матриці жорсткості схеми. Приведення навантажень у вузли схеми.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке ступені вільності у методі скінченних елементів?
2. Як моделюються граничні умови?
3. Як формується матриця жорсткості для скінченного елемента?
4. Чим визначається розмірність матриці жорсткості скінченного елемента та всієї схеми?
5. Як формується матриця жорсткості для розрахункової схеми?

Тема 4. Результати розрахунку конструкцій методом скінченних елементів.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.2, 3.3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь методу скінченних елементів. Визначення переміщень і зусиль в елементах схеми. Визначення напружень та побудова епюр.

Запитання для самоконтролю:

1. Для яких видів навантажень виконуються розрахунки?
2. Запишіть основне рівняння методу скінченних елементів у матричній формі.
3. Назвіть методи розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь.
4. Які компоненти НДС конструкцій обчислюються у результаті статичного розрахунку?
5. Як відбувається розрахунок сил, моментів та напружень в елементах схеми?
6. Які правила використовуються при побудові епюр для стрижневих елементів?

Тема 5. Структура ПК ЛІРА-САПР та порядок створення розрахункової моделі.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.1; [2] §1.10; [4] §1. Зокрема, розгляньте такі питання:

Порядок створення розрахункової моделі. Загальна характеристика ПК ЛІРА-САПР. Структура ПК ЛІРА-САПР. Графічне середовище ПК ЛІРА-САПР.

Запитання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте структуру ПК ЛІРА-САПР.
2. Як можуть бути задані статичні та динамічні навантаження?
3. Назвіть основні джерела похибок при виконанні моделювання методом скінченних елементів.
4. Назвіть базові одиниці вимірювання, що використовуються за замовчуванням у ПК ЛІРА-САПР.
5. Де можна знайти файли з вихідними даними, протоколом розрахунку та результатами по закінченні розрахунку задачі?

6. Як викликати файл повідомлень про помилки у випадку невиконання розрахунку?
7. Які причини можуть викликати повідомлення про геометричну змінюваність схеми об'єкта?

Тема 6. Бібліотека скінченних елементів ПК ЛІРА-САПР.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [2] §1.1.3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Можливості бібліотеки скінченних елементів. Універсальний стержень. Універсальні скінченні елементи плоскої задачі. Універсальні скінченні елементи просторової задачі. Спеціальні скінченні елементи.

Запитання для самоконтролю:

1. Які типи скінченних елементів включені до ПК ЛІРА-САПР?
2. Назвіть основні властивості, якими характеризуються різні типи скінченних елементів.
3. Назвіть найбільш вживані скінченні елементи (СЕ) для лінійних задач. Роботу яких типів конструкцій вони моделюють?
4. Які навантаження допускає скінченний елемент № 10?
5. Охарактеризуйте універсальні скінченні елементи балок-стінок, тонких плит і пологих оболонок.
6. Які види навантажень передбачені для таких СЕ?
7. Охарактеризуйте універсальні скінченні елементи просторової задачі теорії пружності.
8. Для чого призначені спеціальні СЕ № 51, 53, 54, 55?

Тема 7. Принципи побудови скінченно-елементних моделей.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.4, 4.3, 4.5; [4] §2.1-2.3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Системи координат. Ознаки схеми. Кут чистого обертання. Врахування прямої та косої симетрії. Моделювання шарнірів у стержневих і площинних елементах. Введення зв'язків скінченної жорсткості.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке глобальна, місцева та локальна системи координат?
2. Що означає поняття «ознака схеми»?
3. Назвіть основні принципи побудови скінченно-елементних моделей.
4. Охарактеризуйте ознаки схеми в ПК ЛІРА-САПР.
5. Яким чином в розрахунковій схемі враховується пряма та коса симетрія?
6. Що розуміють під словом «шарнір»?
7. Опишіть порядок створення розрахункової схеми.

Тема 8. Раціональне розбиття на скінченні елементи.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §4.2, 4.4; [2] §1.1.5. Зокрема, розгляньте такі питання:

Принцип фрагментації конструкції. Суперелементне моделювання. Сполучення різних типів скінченних елементів. Об'єднання переміщень. Абсолютно жорсткі вставки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чи можна прогнозувати час розв'язку задачі за допомогою ПК ЛІРА-САПР?
2. Назвіть основні принципи раціонального членування на скінченні елементи.
3. У яких випадках використовуються абсолютно жорсткі вставки?
4. У яких випадках здійснюють моделювання податливості вузлів спряження елементів?
5. Якими способами досягається коректне моделювання сполучення стрижневих та плоских елементів схеми?
6. У яких випадках доцільне використання суперелементів? Наведіть приклади.
7. На чому ґрунтується алгоритм розв'язку задачі із застосуванням суперелементів?
8. Що таке супервузли та базисні вузли суперелемента?
9. В яких випадках доцільно використовувати об'єднання переміщень вузлів розрахункової схеми?

Тема 9. Характеристики жорсткості елементів розрахункової схеми.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.6; [3] §1.2. Зокрема, розгляньте такі питання:

Задання жорсткості елементам розрахункової схеми. Конструювання перерізів за допомогою системи КС-САПР. База даних перерізів прокатного сортаменту.

Запитання для самоконтролю:

1. Якими способами можуть задаватися жорсткісні характеристики елементів?
2. Охарактеризуйте можливості конструювання перерізів за допомогою системи КС-САПР.
3. Які геометричні характеристики перерізу використовуються при розрахунку НДС?
4. Які типи перерізів містяться в базі даних системи РС-САПР?

Тема 10. Розрахункові сполучення зусиль та навантажень.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.9; [2] §1.1.7. Зокрема, розгляньте такі питання:

Принципи визначення розрахункових сполучень зусиль. Формування РСЗ у ПК ЛІРА-САПР. Розрахункові сполучення навантажень.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке завантаження?
2. Що є критерієм для визначення небезпечного РСЗ для стержнів?
3. Як здійснюється визначення РСЗ для плоского напруженого стану?
4. Як визначаються нормальні й дотичні напруження на верхній і нижній поверхнях плити?
5. Що є критерієм для визначення небезпечних сполучень напружень для об'ємних елементів?
6. Сформулюйте загальні правила формування РСЗ у ПК ЛІРА-САПР.
7. Назвіть параметри та коефіцієнти РСЗ.
8. Які обмеження накладаються на логічні зв'язки між завантаженнями?
9. В чому полягає основна відмінність між розрахунком за розрахунковими сполученнями зусиль та розрахунковими сполученнями навантажень?

Тема 11. Підбір армування залізобетонних конструкцій.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.10; [2] §1.5, 1.6, 2.1. Зокрема, розгляньте такі питання:

Призначення та можливості систем проектування залізобетонних конструкцій АРМ-САПР в локальному та наскрізному режимі. Армування стержневих елементів.

Запитання для самоконтролю:

1. На які зусилля виконує підбір арматури модуль армування СТРИЖЕНЬ?
2. За якими групами граничних станів виконується розрахунок?
3. Яке армування (симетричне, несиметричне) застосовують для балок і колон? Чому?
4. Які два алгоритми підбору арматури реалізовані у модулі СТРИЖЕНЬ?
5. Чому основний алгоритм при підборі арматури надає перевагу кутовим стрижням?
6. Які додаткові дані необхідно задавати для розрахунку армування?
7. Які величини видаються програмним комплексом у результаті підбору арматури?

Тема 12. Перевірка армування залізобетонних конструкцій.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [2] §1.7, 3.1. Зокрема, розгляньте такі питання:

Армування елементів пластин. Перевірка заданого армування. Призначення конструктивних елементів і уніфікація при розрахунку армування.

Запитання для самоконтролю:

1. На які зусилля та напруження виконується підбір арматури для пластинчастих елементів?

2. Чим відрізняється розрахунок для модуля армування ПЛИТА і БАЛКА-СТІНКА?
3. Як виконується підбір поперечної арматури для плит і оболонок?
4. Як здійснюється перевірка армування в АРМ-САПР у локальному режимі?
5. Для чого призначена уніфікація елементів?
6. Які типи конструктивних елементів задаються в ПК ЛІРА-САПР? Для чого вони призначені?
7. Чи можлива уніфікація конструктивних елементів в ПК ЛІРА-САПР?

Тема 13. Розрахунок та проектування металевих конструкцій.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.10; [3] §1.4, 1.6, 1.7. Зокрема, розгляньте такі питання:

Призначення і можливості системи СТК-САПР. Додаткові дані для розрахунку перерізів. Конструювання вузлів, зварних і болтових з'єднань.

Запитання для самоконтролю:

1. Що є результатами розрахунку металевих перерізів у стрижньових елементах?
2. Які розрахункові процедури визначені для елементів ферм, колон, ригелів, канатів?
3. Які додаткові дані необхідно задавати для розрахунку елементів ферм, колон, ригелів, канатів?
4. За якими формулами здійснюються перевірки несучої здатності елементів металевих конструкцій?
5. Як здійснюється підбір перерізів прокатних елементів?
6. Як здійснюється підбір складених перерізів?
7. Для яких типів вузлів можливе автоматичне конструювання?

Тема 14. Підбір перерізів прокатних елементів.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [3] §1.8-1.11. Зокрема, розгляньте такі питання:

Наскрізний та локальний розрахунок елементів. Представлення результатів розрахунку. Призначення конструктивних елементів і уніфікація при виконанні підбору поперечних перерізів елементів.

Запитання для самоконтролю:

1. У яких режимах може здійснюватися підбір і перевірка металевих перерізів?
2. Що таке конструктивний елемент у ПК ЛІРА-САПР?
3. У яких випадках застосовується уніфікація елементів розрахункової схеми?
4. Які типи уніфікації можна використовувати в ПК ЛІРА-САПР?
5. Для чого призначений наскрізний розрахунок?
6. Коли використовується локальний розрахунок?

Тема 15. Розрахунок конструкцій на пружній основі.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §4.9; [4] §8.5-8.7. Зокрема, розгляньте такі питання:

Врахування роботи конструкцій спільно з пружною основою. Класична модель основи Вінклера. Модель основи Пастернака. Модифікована модель основи Вінклера.

Запитання для самоконтролю:

1. Якими коефіцієнтами характеризуються механічні властивості моделі Пастернака та Вінклера?
2. Чим модифікована модель основи Вінклера відрізняється від класичної?
3. Який скінчений елемент використовується в ПК ЛІРА-САПР для реалізації моделі Вінклера у випадку лінійної задачі? У випадку нелінійної задачі?
4. Яким чином при моделюванні враховується робота основи за межами фундаменту?
5. Опишіть порядок розрахунку плити на пружній основі зі зв'язками скінченної жорсткості.

Тема 16. Розрахунок конструкцій на динамічні впливи.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.12; [4] §10.6-10.8; [7] §16, 17. Зокрема, розгляньте такі питання:

Загальна характеристика розрахунків на динамічні впливи. Сейсмічні навантаження. Вітрове навантаження з врахуванням пульсацій. Розрахунок на задане гармонічне навантаження. Розрахунки на імпульсну та ударну дію.

Запитання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте основні типи динамічних навантажень.
2. Яким чином задається сейсмічне навантаження на розрахункову схему?
3. Яким чином задається вітрове навантаження з врахуванням пульсації?
4. Які форми імпульсів використовуються при моделюванні?
5. Яким чином виконується розрахунок ударної дії?
6. Назвіть параметри, які необхідно задати для розрахунку гармонічного навантаження.

Тема 17. Результати розрахунку на динамічні впливи.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [4] §3.8, 10.1-10.5. Зокрема, розгляньте такі питання:

Власні та вимушені коливання конструкцій. Модальний аналіз. Представлення та аналіз результатів розрахунку на динамічні впливи.

Запитання для самоконтролю:

1. Які компоненти НДС конструкцій обчислюються при розрахунку на динамічні впливи?

2. Що таке власна частота конструкції?
3. Що таке модальний аналіз конструкції?
4. Яким чином в ПК ЛПА-САПР можна переглянути анімацію коливань?
5. Як визначаються сили інерції при виконанні динамічного розрахунку?

Тема 18. Нелінійні розрахунки будівельних конструкцій.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.6, 2.7; [2] §5.7; [4] §2.7. Зокрема, розгляньте такі питання:

Загальна характеристика нелінійних розрахунків. Розв'язування систем нелінійних рівнянь. Кроковий метод.

Запитання для самоконтролю:

1. В чому полягає основна відмінність нелінійних задач від лінійних?
2. Як моделюються нелінійні завантаження конструкції?
3. Чи передбачається формування таблиці РСЗ при нелінійному розрахунку?
4. Яким чином нелінійність впливає на розв'язування систем методу скінченних елементів?
5. В чому полягає відмінність між прямим та ітераційними методами розрахунку?
6. В чому полягає крокова процедура розв'язування нелінійних задач?

Тема 19. Розрахунки з врахуванням фізичної нелінійності.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.8; [2] §1.4; [7] §18. Зокрема, розгляньте такі питання:

Фізична нелінійність бетону. Закони деформування фізично нелінійних скінченних елементів. Бібліотека фізично нелінійних скінченних елементів.

Запитання для самоконтролю:

1. В чому полягає фізична нелінійність?
2. Яким чином елементам схеми задаються фізично нелінійні властивості?
3. Які типи скінченних елементів ПК ЛПА-САПР можуть використовуватися для моделювання фізично нелінійних задач?
4. Які закони деформування можна використовувати для залізобетону?
5. Як відбувається врахування роботи арматури при моделюванні фізичної нелінійності залізобетону?

Тема 20. Розрахунки з врахуванням геометричної та конструктивної нелінійності.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §2.9, 2.11; [4] §3.5, 3.6; [7] §19. Зокрема, розгляньте такі питання:

Геометрична нелінійність. Універсальний стержневий скінченний елемент геометрично нелінійної задачі. Конструктивна нелінійність. Односторонні зв'язки.

Запитання для самоконтролю:

1. В чому полягає геометрична нелінійність?
2. Які типи скінченних елементів ПК ЛІРА-САПР можуть використовуватися для моделювання геометрично нелінійних задач?
3. Охарактеризуйте рівні геометричної нелінійності.
4. В чому полягає конструктивна нелінійність?
5. Проаналізуйте техніку постановки задачі про нелінійну поведінку системи з дискретними зв'язками односторонньої дії.

Тема 21. Моделювання життєвого циклу конструкцій.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §3.8, 4.12-4.14. Зокрема, розгляньте такі питання:

Моделювання процесу навантаження елементів. Моделювання процесу зведення конструкції. Комп'ютерне моделювання життєвого циклу конструкції.

Запитання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте особливості моделювання процесу навантаження елементів конструкції. В чому полягають його переваги?
2. Опишіть послідовність моделювання процесу зведення конструкції. Які параметри вказуються на кожній стадії?
3. З яких етапів складається життєвий цикл конструкції?
4. Які процеси моделюються на форс-мажорних стадіях життєвого циклу?

Тема 22. Виконання розрахунку моделі.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [4] §1.2-1.5. Зокрема, розгляньте такі питання:

Послідовність виконання розрахунку моделі. Керування розрахунковими процесорами ПК ЛІРА-САПР. Протокол рішення задачі.

Запитання для самоконтролю:

1. Назвіть основні етапи розрахунку задач в ПК ЛІРА-САПР.
2. Для чого виконується оптимізація матриці жорсткості схеми?
3. Охарактеризуйте основні режими виконання розрахунку розрахунковим процесором ПК ЛІРА-САПР.
4. Які параметри розрахунку можна налаштовувати в ПК ЛІРА-САПР?

Тема 23. Оцінювання точності результатів розрахунку.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §1.2; [4] §2.8, 2.9. Зокрема, розгляньте такі питання:

Одночасне використання декількох розрахункових схем. Зіставлення розрахункових і експериментальних даних. Верифікація програмного комплексу.

Запитання для самоконтролю:

1. В чому полягають переваги одночасного використання декількох розрахункових схем?
2. Як густина сітки скінченних елементів впливає на точність розрахунку?
3. Для чого використовуються дисперсія відтворюваності та дисперсія адекватності?
4. Як виконується перевірка адекватності розрахункових даних?
5. В чому полягає процедура верифікації програмного комплексу? Які задачі вона включає?

Тема 24. Аналіз та інтерпретація результатів розрахунку.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [1] §4.15; [4] §6.1-6.3. Зокрема, розгляньте такі питання:

Візуалізація результатів розрахунків. Проблема аналізу результатів. Перевірка адекватності отриманих результатів.

Запитання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте робоче вікно в режимі «Аналіз» та «Розширений аналіз».
2. Якою командою керується графічне відображення деформованої схеми?
3. Як здійснюється зміна номера завантаження при перегляді результатів розрахунку?
4. Як викликати на екран епюри зусиль, кольорові діаграми переміщень та ізополя напружень?
5. Як отримати інформацію про переміщення конкретного вузла чи зусилля у вибраному елементі?
6. Як скористатися фільтрами відображення для візуалізації значені навантажень на розрахунковій схемі?
7. Які операції потрібно виконати для аналізу переміщень?
8. Які форми представлення результатів розрахунку переміщень дозволяє отримати набір функцій відображення?
9. Охарактеризуйте інструментальну панель режиму аналізу зусиль.
10. Як скористатися фільтрами відображення для візуалізації значень зусиль на епюрах?

Тема 25. Документування результатів розрахунку.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [2] §2.2; [3] §5.5. Зокрема, розгляньте такі питання:

Створення стандартних та інтерактивних таблиць. Автоматична генерація пояснювальної записки. Графічний документатор.

Запитання для самоконтролю:

1. Як можна зберегти та помістити на стандартні аркуші всю графічну та цифрову інформацію, що формується у ході підготовки моделі та її розрахунку?
2. Які таблиці результатів розрахунку можна отримати за допомогою команди «Інтерактивні таблиці»?
3. Як формується пояснювальна записка до розрахунку?
4. Як генерується набір таблиць результатів у звіт?
5. Як переглянути та роздрукувати таблиці результатів розрахунку?

Тема 26. Обмін інформацією з іншими програмними засобами.

При опрацюванні теми скористайтесь літературними джерелами [3] §1.12, 3.7. Зокрема, розгляньте такі питання:

Імпорт даних про розрахункову модель. Експорт результатів розрахунку та конструювання в системи автоматизованого проектування. Експорт текстової та табличної інформації.

Запитання для самоконтролю:

1. З якими графічними системами має інформаційний зв'язок ПК ЛІРА-САПР?
2. Охарактеризуйте особливості імпорту планів поверхів з фалів DXF.
3. В чому полягає процес тріангуляції сіток при імпорті даних?
4. Які дані імпортуються з файлів ArchiCAD та Revit Structure?
5. Які можливості експорту інформації передбачені в ПК ЛІРА-САПР?

ПИТАННЯ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЕКЗАМЕН

1. Загальна характеристика методу скінченних елементів.
2. Порядок створення розрахункової моделі конструкції.
3. Структура ПК ЛІРА-САПР.
4. Графічне середовище ПК ЛІРА-САПР.
5. Бібліотека скінченних елементів ПК ЛІРА-САПР.
6. Універсальний стержневий скінченний елемент.
7. Універсальні скінченні елементи плоскої задачі.
8. Універсальні скінченні елементи просторової задачі.
9. Спеціальні скінченні елементи.
10. Основні принципи побудови скінченно-елементних моделей.
11. Системи координат моделі.
12. Ознаки схеми ПК ЛІРА-САПР.
13. Суперелементне моделювання.

- 14.Рациональне розбиття схеми на скінченні елементи.
- 15.Об'єднання переміщень.
- 16.Абсолютно жорсткі вставки.
- 17.Моделювання шарнірів у стержневих і площинних елементах.
- 18.Введення зв'язків скінченної жорсткості.
- 19.Сполучення різних типів скінченних елементів.
- 20.Задання жорсткості елементам розрахункової схеми.
- 21.Конструювання перерізів за допомогою системи КС-САПР.
- 22.База даних сортаментного прокату та її редагування.
- 23.Принципи визначення розрахункових сполучень зусиль.
- 24.Формування РСЗ у ПК ЛІРА-САПР.
- 25.Розрахункові сполучення навантажень.
- 26.Врахування роботи конструкцій спільно з пружною основою.
- 27.Класична модель основи Вінклера.
- 28.Модель основи Пастернака.
- 29.Модифікована модель основи Вінклера.
- 30.Моделювання попереднього натягу елементів схеми.
- 31.Призначення та можливості системи проектування ЗБК АРМ-САПР.
- 32.Підбір та перевірка армування стержневих елементів.
- 33.Підбір та перевірка армування елементів пластин.
- 34.Призначення конструктивних елементів.
- 35.Уніфікація елементів схеми.
- 36.Призначення та можливості системи СТК-САПР.
- 37.Підбір та перевірка перерізів елементів металевих конструкцій.
- 38.Представлення результатів підбору перерізів елементів металевих конструкцій.
- 39.Послідовність розрахунку конструкцій на динамічні впливи.
- 40.Розрахунок на сейсмічні навантаження.
- 41.Розрахунок вітрового навантаження з врахуванням пульсацій.
- 42.Розрахунок на задане гармонічне навантаження.
- 43.Розрахунок на імпульсну та ударну дію.
- 44.Загальна характеристика нелінійних розрахунків.
- 45.Кроковий метод розв'язування систем нелінійних рівнянь.
- 46.Фізична нелінійність.
- 47.Геометрична нелінійність.
- 48.Конструктивна нелінійність.
- 49.Моделювання процесу зведення конструкцій.
- 50.Комп'ютерне моделювання життєвого циклу конструкції.
- 51.Одночасне використання декількох розрахункових схем.
- 52.Зіставлення розрахункових і експериментальних даних.

- 53.Процедура верифікації програмного комплексу.
- 54.Виконання розрахунку задачі.
- 55.Документування результатів розрахунку.
- 56.Візуалізація результатів розрахунку.
- 57.Перевірка адекватності отриманих результатів розрахунку.
- 58.Основні принципи аналізу результатів розрахунку.
- 59.Врахування симетрії розрахункової схеми.
- 60.Розрахунок вимушених коливань розрахункової схеми.
- 61.Загальна схема методу скінченних елементів.
- 62.Матриця жорсткості скінченного елемента в локальній системі координат.
- 63.Матриця перетворень (направляючих косинусів).
- 64.Формування матриці жорсткості розрахункової схеми.
- 65.Імпорт планів поверхів з файлів DXF.
- 66.Імпорт розрахункових схем з систем AutoCAD, ArchiCAD, Revit Structure.

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ

В організації навчального процесу застосовується поточний і підсумковий контроль.

Поточний контроль здійснюють під час проведення лабораторних занять, він має на меті перевірку рівня підготовленості студентів з певних розділів (тем) навчальної програми і виконання конкретних завдань. Поточний контроль (тестування) проводиться та оцінюється за питаннями, які винесені на лекційні заняття, самостійну роботу, лабораторні роботи.

Підсумковий контроль проводиться по закінченні семестру з метою оцінювання результатів вивчення навчального курсу та передбачає заліковий контроль в 5 семестрі та екзаменаційний контроль в 6 семестрі.

Розподіл балів, які отримують студенти

Семестр 5

Поточне тестування, захист лабораторних робіт та самостійна робота											Підсум- ковий контроль (залік)	Сума	
Модуль 1					Модуль 2								
ЗМ1			ЗМ2		МК1	ЗМ3		ЗМ4					МК2
15			10		10	10		15			15	25	100
ЛР1	ЛР2	ЛР3	ЛР4	ЛР5		ЛР6	ЛР7	ЛР8	ЛР9	ЛР10			
5	5	5	5	5		5	5	5	5	5			

Семестр 6

Поточне тестування, захист лабораторних робіт та самостійна робота										Підсум- ковий конт- роль (екза- мен)	Сума		
Модуль 3			Модуль 4				Модуль 5						
ЗМ5	ЗМ6		МК3	ЗМ7		ЗМ8	МК4	ЗМ9	ЗМ10			МК5	
5	10		10	8		7	10	5	10			10	
ЛР11	ЛР12	ЛР13		ЛР14	ЛР15	ЛР16		ЛР17	ЛР18	ЛР19	ЛР20		
5	5	5		4	4	4		3	5	5	5		

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Верюжский, Ю.В. Компьютерные технологии проектирование железобетонных конструкций [Текст] / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов, М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский. - К.: Национальный авиационный университет, 2006. – 808 с.
3. Барабаш, М.С. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций [Текст] / М.С. Барабаш, М.В. Лазнюк, М.Л. Мартынова, Н.И. Пресняков. - М.: Из-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 328 с.
4. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. - К.: Из-во "Сталь", 2002. – 600 с.
5. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013: Учебное пособие [Текст] / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова / Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. – К.–М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.
6. Водопьянов, Р.Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015: Руководство пользователя. Обучающие примеры [Текст] / Р.Ю. Водопьянов, В.П. Титок, А.Е. Артамонова / Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.
7. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич; пер. с англ. Б.Е. Победри. – М.: Мир, 1975. – 542 с.

ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Офіційний сайт ЛІРА-САПР [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – К: ВАТ «ЛІРА САПР», 2002-2017. – Режим доступу: <http://www.liraland.ua>
2. Форум користувачів ЛІРА-САПР [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://forum.dwg.ru/forumdisplay.php?f=37>
3. ЛІРА-САПР. Офіційний канал [Електронний ресурс] : [Веб-портал]. – Електронні дані. – YouTube LLC, 2017. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/user/LiraLand>
4. Смирнов, В.В. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] / В.В. Смирнов. – Электронные данные. – Компания Softline, 1993-2017. – Режим доступа: <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/smirnov/main.asp>
5. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с. – (Національний стандарт України).
6. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Національний стандарт України).
7. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014. – [Чинний від 2015-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с. – (Національний стандарт України).
8. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Національний стандарт України).
9. Проектування висотних житлових і громадських будинків : ДБН 2.2-24:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 105 с. – (Національний стандарт України).

[illegible]

Навчально-методична література

Сорочак А.П., Баран Д.Я.

**Методичні вказівки
для самостійної роботи з курсу
«Програмне забезпечення інженерних розрахунків»**

для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Комп'ютерне макетування та верстка *А.П. Сорочак*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 0,89. Тираж 10 прим. Зам. № 2992.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.